

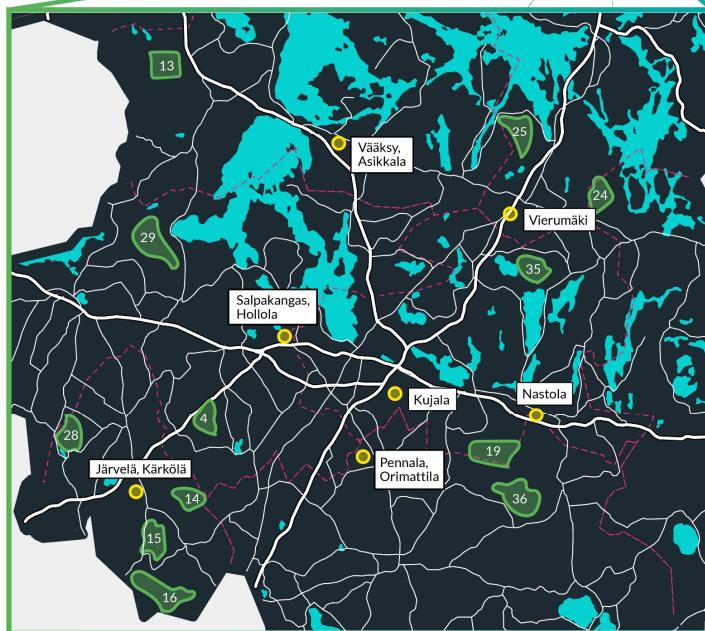
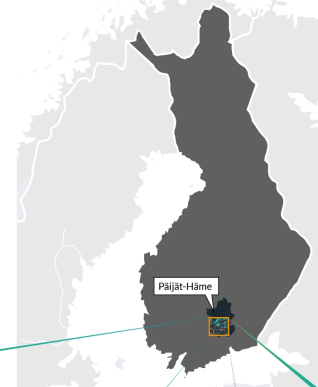
SIIRTYMÄ

Siirtymä uusiutuvan energian ja
resurssitehokkuuden hiilineutraaleihin
ekosysteemeihin

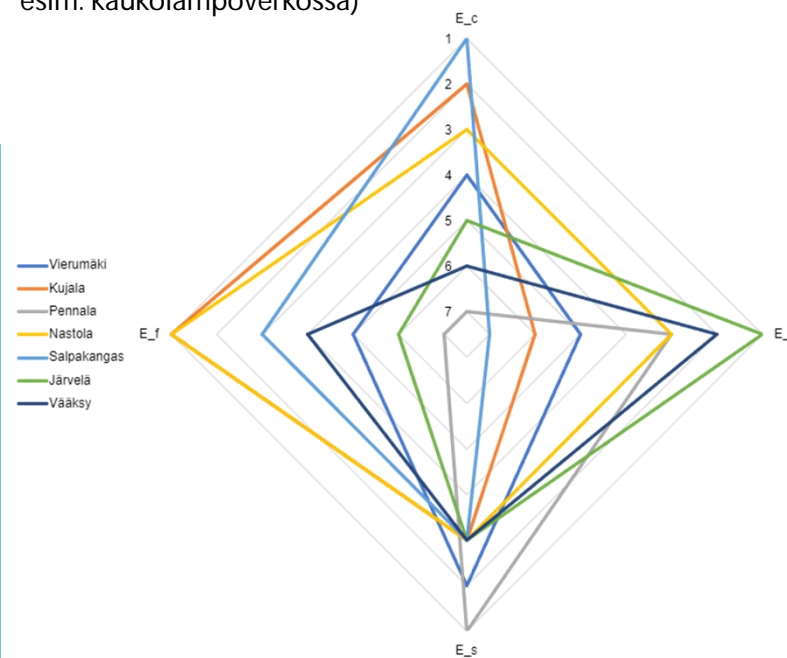
Työpaketti 1:
Tuuli- ja aurinkoenergian sekä
energiavarastojen edistäminen

Osakokonaisuuden tavoitteena
on tehdä tarvittavat
taustaselvitykset ja mallinnukset
Päijät-Hämeen uusiutuvan
energian ja energiavarastojen
alueellisten ekosysteemien
syntymisen pohjaksi case-
pohjaisella lähestymisellä.

- Toimenpide 1.1: Visualisointi Päijät-Hämeestä tunnistetuille 3–5 potentiaalisimmille uusiutuvan energian ja sen varastoinnin ekosysteemialueille. Alustavat laskelmat ekosysteemitoinnalla saavutettaville kustannus- ja ympäristöhöydyille elinkaaritasolla.
- Toimenpide 1.2: Päijät-Hämeen alueelle ja erityisesti tunnistetuille ekosysteemialueille räätälöity vertailu ja selvitys energiavarastointiteknologioiden potentiaaleista, hyvistä ja huonoista puolista sekä analyysi teknologisista valmiuksista ja aikatauluista.
- Toimenpide 1.3: Menetelmä, jolla uusiutuvan energian ja energiavarastojen ekosysteemiyhdistelmien toimintaa voidaan arvioida ja kehittää. Case-kohteille tehty arviointi eri energiavarastojen investointien kannattavuudesta sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.



E_c = energy volume (vuosikulutus)
 E_w = wind energy availability (vuosituotanto)
 E_s = solar energy availability (vuosituotanto)
 E_f = energy infrastructure availability (vuosikulutus esim. kaukolämpöverkossa)



Ekosysteemin keskus (core) 1 km halkaisija ja laajennettu alue 15 km, jonka sisässä uusiutuvan energian tuotanto sijaitsee.

Toimenpide 1.1:
Alueiden valinta ja alustavat laskelmat

Kustannus- ja ympäristöhyödyt laskettu neljän energiamuuttujan avulla. Löydettiin yhteensä seitsemän potentiaalisinta ekosysteemialuetta.

Toimenpide 1.2: Energiavarastointi- teknologioiden valinta

- Eri varastoteknologioiden potentiaaleista, hyvistä ja huonoista puolista sekä teknologisista valmiuksista ja aikatauluista tehtiin yksityiskohtaisempi tarkastelu. Tarkastelua myös jatkettiin osittain toimenpiteessä 1.3, kun tarkasteltiin ylikriittisen CO₂-varaston potentiaalia ja toteutettavuutta.
- Valittiin aluksi neljä erilaista potentiaalista aluetta tarkempaan teknologioiden valintaan (osassa kaukolämpöverkko)
 - Vierumäki
 - Pennala
 - Salpakangas
 - Vääksy (jäi lopulta pois tarkemmasta tarkastelusta toimenpiteessä 1.3)
- Tarkasteltavaksi valitut teknologiat olivat
 - Power-to-Heat
 - Akkuvarasto (Li-ion)
 - Adiabaattinen paineilmaparasto (ACAES)
 - Power-to-Hydrogen
 - Ylikriittinen hiilidioksidivarasto (sCO₂)



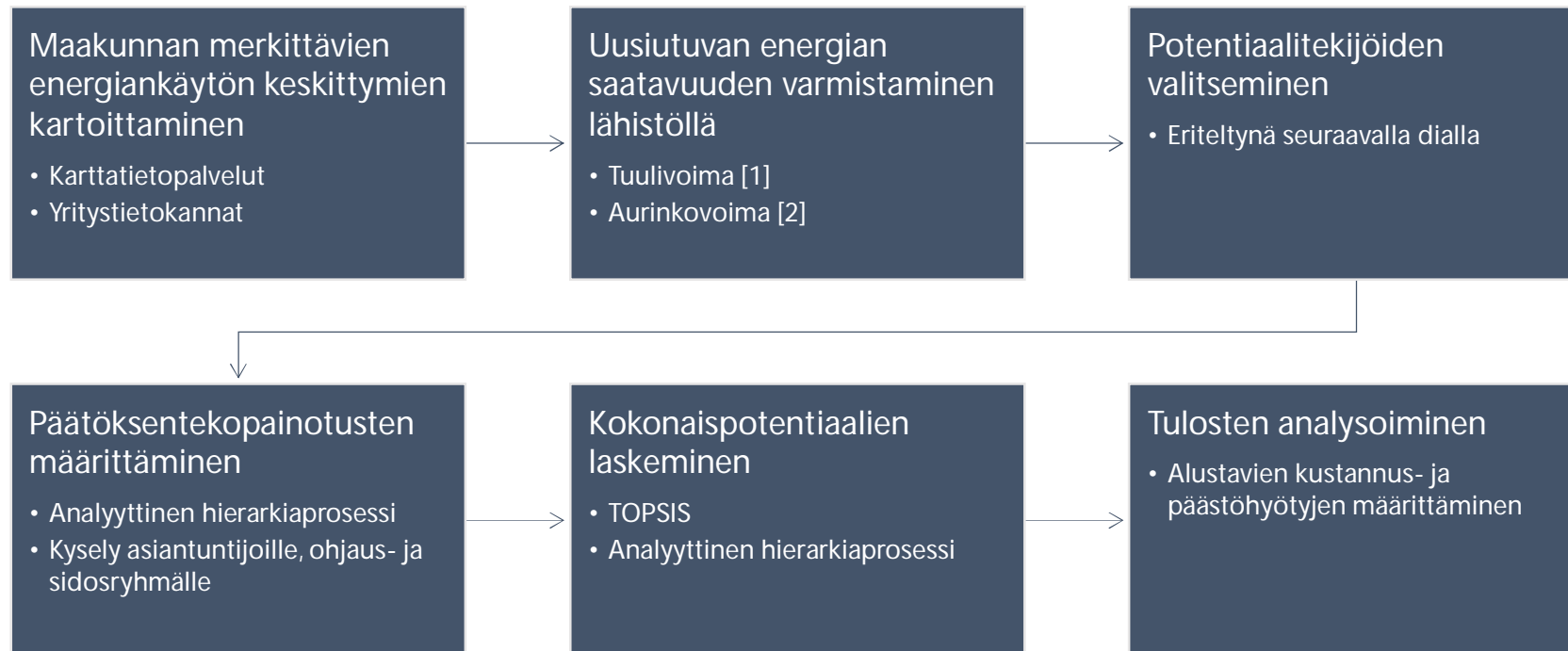
Toimenpide 1.3

Keskeiset tulokset

Energiaekosysteemien sijaintien määrittäminen

- Kohteiden kartoittamisessa ja vertailemisessa hyödynnettiin monitavoitearviointia
- Toimenpiteessä 1.1 kehitetty lähestymistapa jalostettiin prosessiksi, joka on yleisesti hyödynnettävissä

Prosessi, menetelmät ja aineistot



[1] FCG. 2024. Päijät-Hämeen tuulivoimaselvitys. <https://paijat-hame.fi/alueidenkaytto-ja-liikenne/tuulivoimaselvitys/>

[2] Motiva. 2024. Aurinkosähkövoimalat kartalla. <https://aurinkosahkovoimalat.fi/>

Potentiaalitekijät ja painotukset

Energian käyttö
alueella
(1 km)

- 24,6 %

Tuulienergian
potentiaali
(15–20 km)

- 14,5 %

Aurinkoenergian
potentiaali
(15–20 km)

- 19,5 %

Lämpöverkon
saatavuus alueella

- 41,4 %

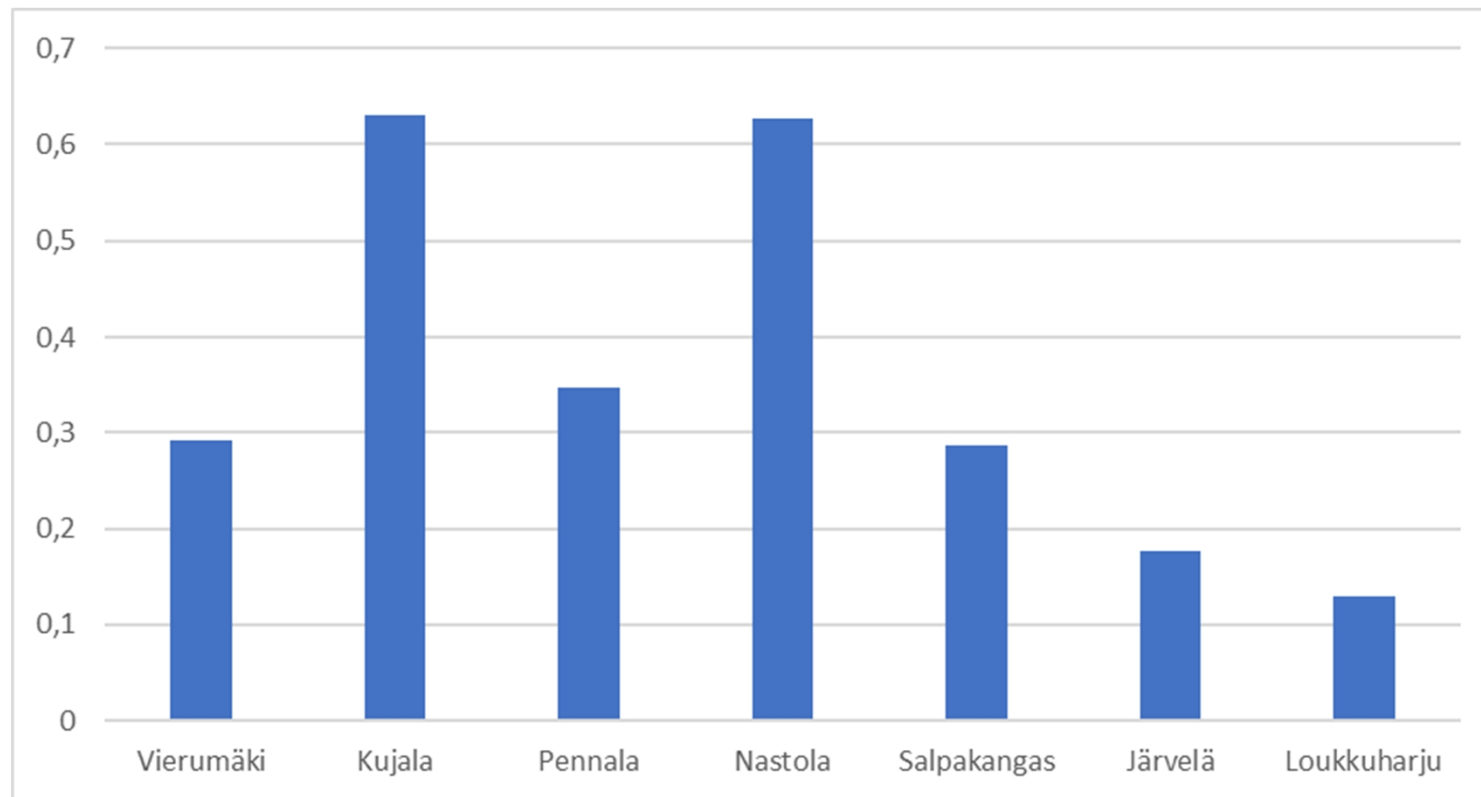
Energian käyttäjät

Kohde	Liike-elämä, pieni	Teollisuus, pieni	Liike-elämä, suuri	Kaukolämpö- verkko
Vierumäki	5	9	1	Vierumäen Infra
Kujala	9	13	1	Lahti Energia
Pennala	3	4		–
Nastola	12	8	1	Lahti Energia
Salpakangas	23	12	2	Lahti Energia
Järvelä	10	3	1	Kärkölan Lämpö
Loukkuharju	20	1		Lahti Energia

Kohteiden potentiaalityökijät

Kohde	Energiavirrat	Tuulienergia	Aurinkoenergia	Energiaverkko
Vierumäki	2,47	255	50,4	14
Kujala	3,39	120	0	1108
Pennala	0,87	270	80	0
Nastola	2,64	270	0	1108
Salpakangas	4,51	60	0	97
Järvelä	1,64	390	0	5
Loukkuharju	1,18	300	0	24

Tulokset: kohteiden potentiaalit



Arviot vuosittaisista hyödyistä

- Hyötyarviot käsittävät sähkön käytön
 - Ne heijastavat osittain myös lämmön osalta saavutettavissa olevia hyötyjä
 - Kaikki hankittu sähkö oletettiin korvattavan paikallisella tuulivoimalla (PPA)
 - Ylimääräisenä hankitun sähkön osuutta ei huomioitu
- Lähtöarvot
 - Hankintahinta, sähkö: 116 €/MWh [1]
 - Hankintahinta, tuulivoima: 60 €/MWh [2]
 - Päästökerroin, ostosähkö: 89 gCO₂/kWh [3]
 - Päästökerroin, tuulivoima: 7 gCO₂e/kWh [4]

Kohde	t€	t CO ₂
Vierumäki	139	203
Kujala	191	278
Pennala	49	71
Nastola	149	216
Salpakangas	254	370
Järvelä	92	134
Loukkuharju	66	97

Kustannukset -48 %, päästöt -92 %

[1] Tilastokeskus. 2023. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, kokonaishinta 2022M01 - M12, yritys/yhteisö. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/

[2] Bloomberg. 2022. Wind and Solar Corporate PPA Prices Rise Up To 16.7% Across Europe. <https://about.bnef.com/blog/wind-and-solar-corporate-ppa-prices-rise-up-to-16-7-across-europe/>

[3] Tilastokeskus. 2023. Energia ja päästöt, 12.3.2.2 sähkön tuotanto, liukuva ka 5 v (2021). https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2022/html/suom0011.htm

[4] Sphera-tietokanta

Havainnot

- Kustannus- ja päästöhyötyjä ei voi määrittää tarkasti suoraan potentiaaleista
 - Tarvitaan dynaamisia mallinnuksia
- Kohteiden vertailua ei voi tehdä täysin objektiivisesti
 - Tekijöiden painotuksissa on aina subjektiivisia tekijöitä
 - Tulokset kuvastavat osallistuneiden asiantuntijoiden näkemyksiä

Alueelliset johtopäätökset

- Parhaat energiayhteistyön potentiaalit olivat Kujalassa ja Nastolassa
 - Kaukolämpöverkko voi toimia "verkkoakkuna" ja mahdollistaa joustavuuden
- Kaikilla alueilla on tuulivoimapotentiaalia lähistöllä
- Energiayhteistyön mahdollisuudet muodostuvat tekijöiden sopivista yhdistelmistä
 - Suurin alueellinen energian kulutus ei johtanut parhaimpaan potentiaaliin (Salpakangas)
 - Aurinkoenergian saatavuus tai lämpöverkko eivät olleet välttämättömiä
 - Vahva tuulivoimapotentiaali ei välttämättä johtanut korkeaan potentiaaliin (Vääksyn ja Kärkölän kohteet)
- Monipuolinen kohteiden tarkastelu on tärkeää

Johtopäätökset vaikutuksista

- Yritysten ja erityisesti teollisuuden kannattaa huomioida alueellisen energiayhteistyön mahdollisuudet
 - Kustannus- ja päästövähennykset eivät ole toisiaan poissulkevia
 - Tulevaisuuteen varautuminen ja edelläkävijyys
 - Energiavarastot ovat tärkeä osa kokonaisuutta
- Alueviranomaisen saa aluekehittämisen tukea
 - Tulokset saatiin järjestelmällisten ja yleisesti hyväksytyjen menetelmien avulla

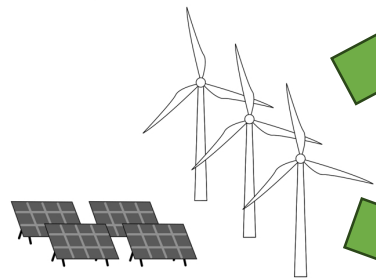
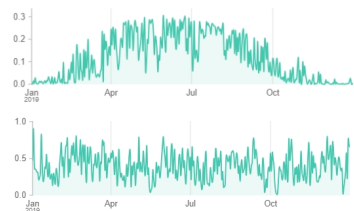
Uusiutuvien hyödyntäminen

Energianmuuntoprosessit

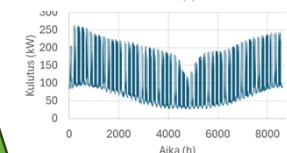
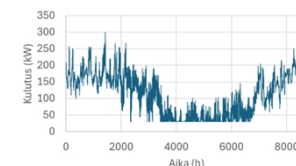
- Sähkökattila
- Ilmalämpöpumppu
- Vetyteknologiat (elektrolyysi, vetykattila, vetyturbiini)
 - Hukkalämpö-lämpöpumppu (lämpö elektrolyysistä)

Energiavarastot

- Lämpövarasto (eristetty vesisäiliö)
- Li-ion akku
- Moderni paineilmapvarasto (A-CAES)
- Vetyvarasto (terässäiliö tai kallioluola)



Uusiutuvan energian tuotanto



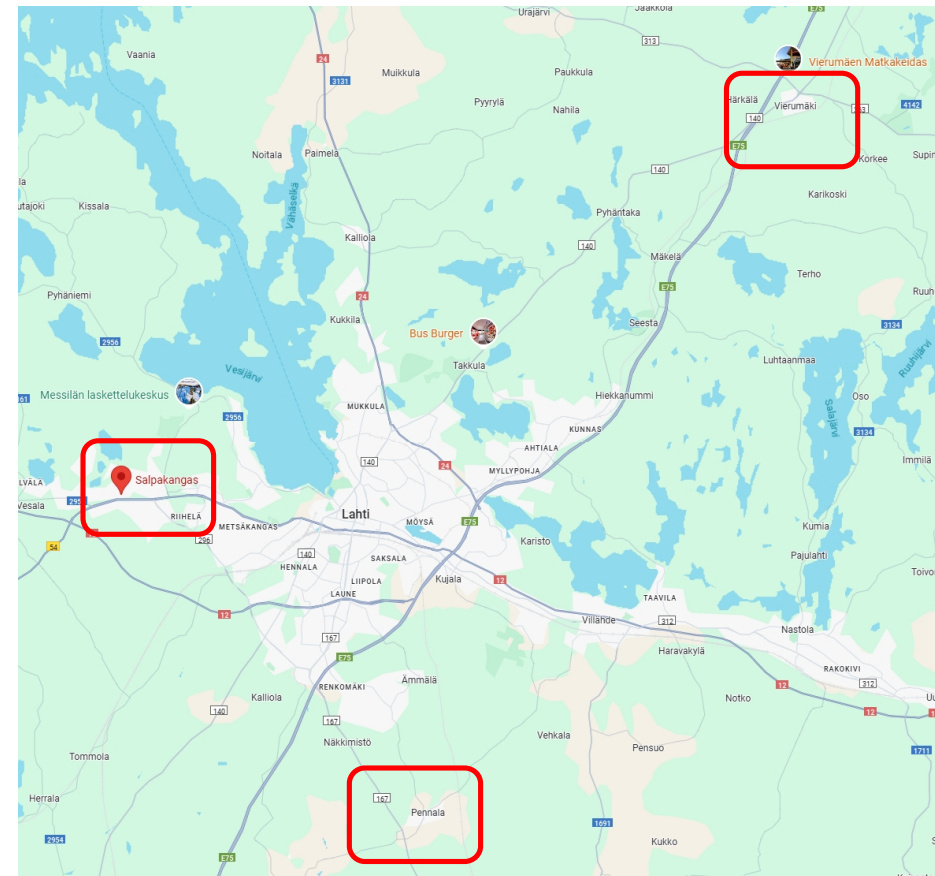
Lämmön ja sähkön kokonaiskulutus

Energiaekosysteemi

- Paikallista energiaekosysteemiä on tarkasteltu valittuihin kohteisiin
 - Pennala
 - Salpakangas
 - Vierumäki
- Jokaisella kohteella on luotu oma tuntikohtainen kulutus- ja tuotantodata

SIIRTUMÄI

Siirtymä uusiutuvan energian ja resurssitehokkuuden hiilineutraaleihin ekosysteemeihin



Kannattavuuslaskenta

- Kuinka arvioida energiavarastojen ja uusiutuvien taloudellista kannattavuutta ja kestävyyttä?

Teknitaloudellinen laskenta

- Investointikustannukset
- Käyttökustannukset
- Korkokanta
- Tekninen käyttöikä
- Käyttötapa

Aikasarjat (tunnin tarkkuus)

- Tuulivoiman tuotanto
- Aurinkovoiman tuotanto
- Sähkön kulutus
- Lämmön kulutus
- Verkkosähkön päästöt

Investointikustannusten epävarmuus

- Tulevaisuuden hintakehitys
- Kokoluokan vaikutus
- Markkinan tilanne

Kestävyys

- Rakentamiseen, valmistukseen ja käytöstä poistoon liittyvät päästöt
- Käytön päästöt

Mitoitus ja käyttö

- Miten useasta komponentista koostuva järjestelmä mitoitetaan ja miten sitä käytetään? Mitkä teknologiat valitaan?
- Menetelmä: lineaarinen optimointi (Calliope-ohjelmisto)
 - Minimoidaan lämmön ja sähkön kustannus (€/kWh) lähtötietojen perusteella
 - Laskentaohjelma ratkaisee mitoituksen, valitsee teknologiat, ja sen miten järjestelmää käytetään (ideaalitulanteessa)

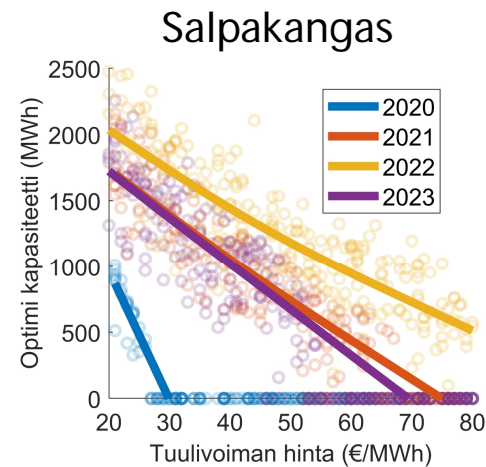
Laskenta

- Laskennan tulos on yhtä hyvä kuin lähtödata
 - Kustannukset, päästöt, oletukset
 - Aikasarjat (tuotanto ja kulutus)
- Entä jos kalliimpi, entä jos halvempi...
 - Herkkyystarkastelu: kokeillaan eri hinnoilla ja katsotaan kuinka tulos muuttuu → etsitään rajahintaa, jolla teknologia muuttuu kannattavaksi
 - Testataan useita hintoja kaikille teknologioille
 - Testataan usealle eri vuodelle (sähkön hinta, säätila)

Tuulivoima

- Tuulivoiman kannattavuusraja vaihtelee pörssisähkön hinnan mukaan
- Kokoluokka noin 0.5-2.0 MW
 - Vastaa n. yhtä tuulivoimalaa
- Halvempi hinta -> suurempi kapasiteetti

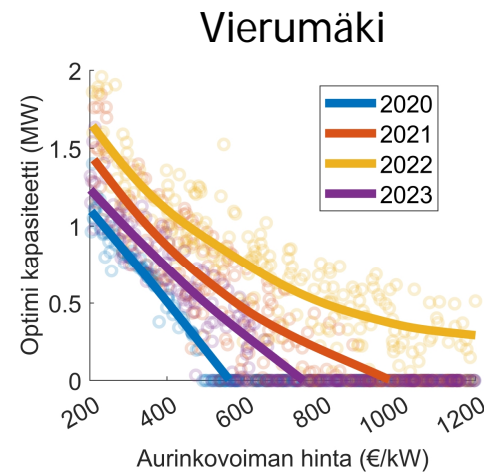
Kannattavuusraja (€/MWh)			
Pennala	Salpakangas	Vierumäki	Vuosi
29	30	30	2020
71	75	74	2021
Yli 80	Yli 80	Yli 80	2022
65	69	65	2023



Aurinkovoima

- Aurinkovoiman kannattavuusraja vaihtelee vuosittaisen pörssisähkön hinnan mukaan
- Kokoluokka noin 0.5-2.0 MW
- Halpa hinta -> suurempi kapasiteetti

Kannattavuusraja (€/kW)			
Pennala	Salpakangas	Vierumäki	Vuosi
524	575	561	2020
950	999	976	2021
Yli 1200	Yli 1200	Yli 1200	2022
732	797	756	2023

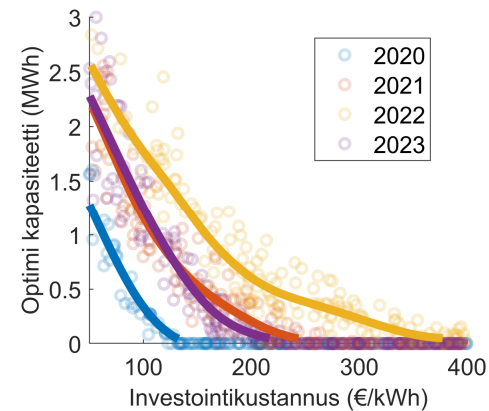


Akut

- Akkujen kannattavuusraja
- Kokoluokka muutama MWh

Kannattavuusraja (€/kWh)			
Pennala	Salpakangas	Vierumäki	Vuosi
142	143	142	2020
257	263	263	2021
432	451	451	2022
232	239	238	2023

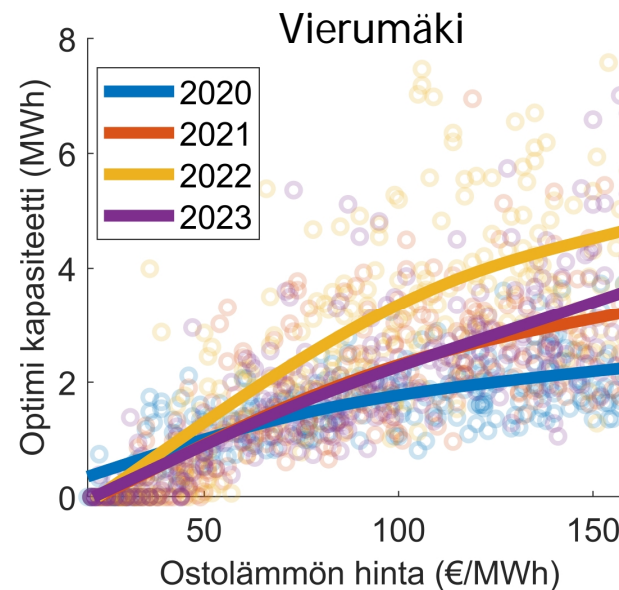
Pennala



Lämpövarasto

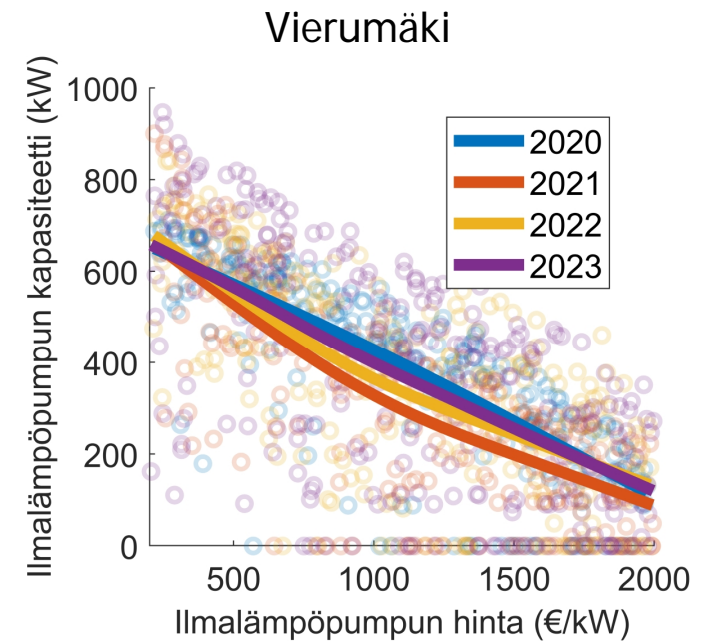
- Ostolämmön hinta on merkittävin tekijä lämpövaraston koon valinnassa
 - Kallis ostolämpö -> suurempi varasto
 - Lämpövaraston hinnan merkitys on pienehkö

Lämpövaraston kapasiteetti (MWh)			Ostolämmön hinta (€/MWh)
Pennala	Salpakangas	Vierumäki	
0.3	1.8	1.0	50
0.8	4.3	2.3	100
1.1	6.1	3.3	150



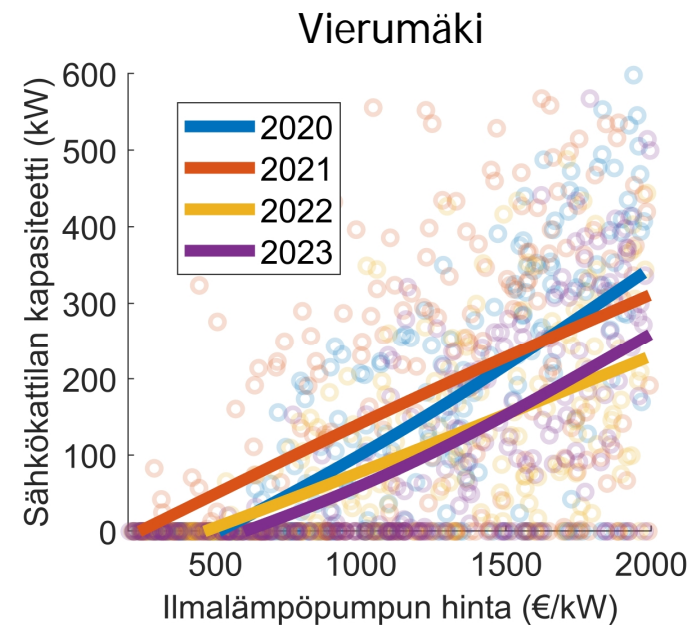
Ilmalämpöpumppu

- Lähes aina kannattava
- Kapasiteetti ja osuus lämmöntuotannosta kasvaa hinnan madaltuessa



Sähkökattila

- Investointikustannus on edullinen, n. 100-300 €/kW
- Sähkökattilan kapasiteetti riippuu eniten ilmalämpöpumpun (ILP) hinnasta
 - Kallis ILP → korkea ILP käyttöaste → pieni ILP → suuri sähkökattila

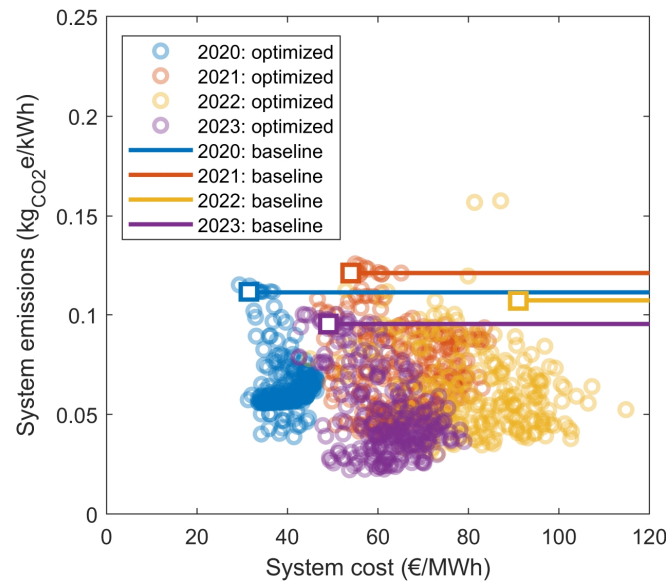


Yhteenveto

- Selvitettiin tuuli- ja aurinkovoiman käyttöä kolmessa kohteessa (Pennala, Salpakangas, Vierumäki)
- Tavoitteena oli löytää rajahintoja, joilla eri teknologiat olisivat kannattavia
- Tuulivoima, aurinkovoima, lämpövarasto, ilmalämpöpumppu ja sähkökattila vaikuttavat kannattavilta jo nykytilanteessa
 - Akut ovat tulossa
 - Paineilmavarasto ja vetyteknologiat näyttävät vielä liian kalliilta
- Avoimia kysymyksiä:
 - Verkkosähkön ja ostolämmön hintakehitys?
 - Lisäetuja päästö- ja omavaraisuusnäkökulmasta?
 - Tarkempia analyysejä yksittäisille kohteille?

Elinkaaritarkastelu (hiilikädenjälki)

- Kustannusoptimoiduille energiajärjestelmille suoritettiin hiilikädenjälkilaskenta
- Kädenjälkimenetelmä perustuu Life Cycle Assessment (LCA) standardeihin ISO 14040/14044
- Baseline-skenaarion perusteltu määrittely ja toiminnallinen yksikkö tärkeimpiä menetelmän vahvuuksia luotettavien tulosten takaamiseksi
- Tarkempi menetelmäkuvaus on saatavilla kädenjälkioppaassa



Energiajärjestelmien tulokset

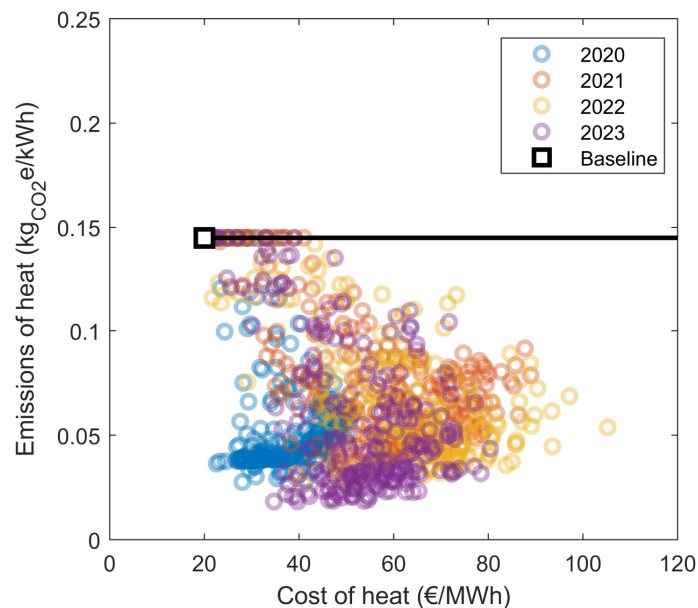
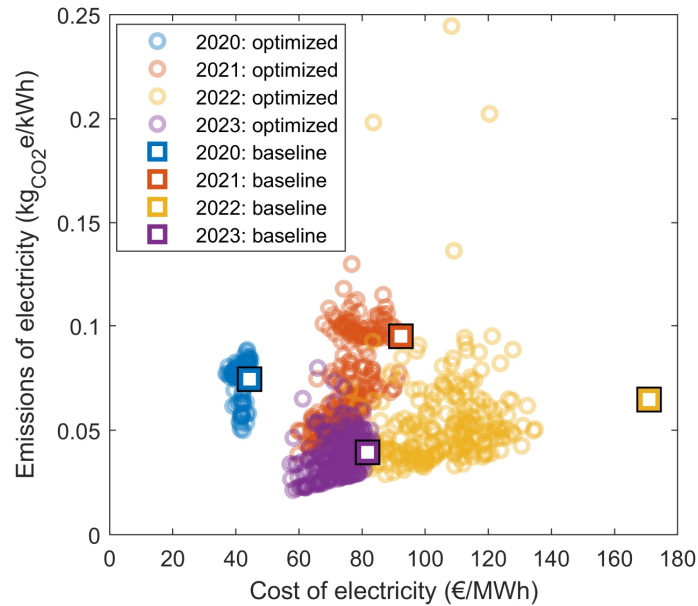
- Kustannusoptimointi johtaa suuressa osaa skenaarioista myös päästövähennyksiin
- Lämpöenergian hinta vaikuttaa merkittävästi uusiutuvan ja vähäpäästöisen järjestelmän kannattavuuteen
- Kuvista nähdään myös keskihintojen kehitys aikavälillä 2020-2023 sisältäen pandemian ja Ukrainan sodan vaikutuksen hintoihin

Pohdinta ja johtopäätökset

- Kädenjäljillä voidaan arvioida ja vertailla eri ratkaisujen kestävyttä päästöjen näkökulmasta
- Todennäköisyyslaskenta tukee paremmin päätöksentekoa, kun voidaan arvioida erilaisten kehityskulkujen vaikutusta myös päästöihin
- Kädenjälkimenetelmä voi olla arvokas työkalu suunniteltaessa alueellisia energiajärjestelmiä ympäristön kannalta kestäviksi
- Tunnistamalla positiivista hiilikädenjälkeä tuottavia ratkaisuja voidaan varautua ilmastolainsäädännön kehitykseen jo energiajärjestelmän muutosten suunnitteluvaiheessa
- Kädenjälkimenetelmä on yhteensopiva Green Claims-direktiivin kanssa ja mahdollistaa positiivisten ympäristövaikutusten viestimisen luotettavasti ja läpinäkyvästi

Elinkaaritarkastelu (hiilikädenjälki)

- Tutkittava ratkaisu: 1000 kappaletta erilaisia kustannusten perusteella optimoituja energiajärjestelmiä
- Baseline: Nykyinen energiajärjestelmä
- Toiminnallinen yksikkö: järjestelmän energiankulutus
- Kustannusoptimoinnit suoritettiin neljälle menneelle vuodelle 2020-2023
- Jokaista mallinnettua vuotta kohti on siis esitetty baseline-skenaario ja simuloituidut ratkaisuskenaariot
- Lämmön hinta on laskettu jakaumana 20-160 €/MWh



Sähkön hinta ja päästöt

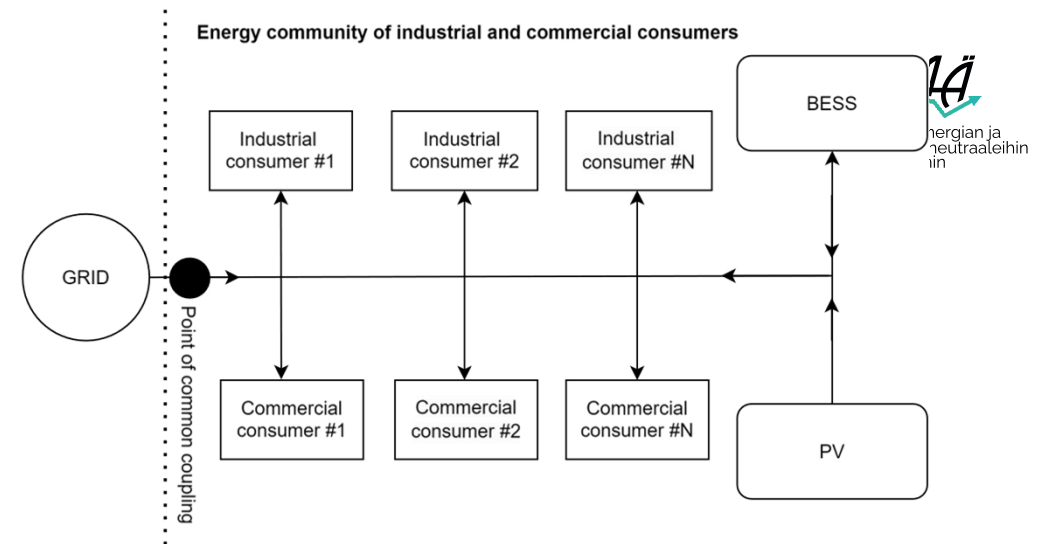
- Sähkön kustannusten ja päästöjen välillä näyttäisi olevan positiivinen korrelaatio, vaikkakin varianssi on suuri
- Siitä huolimatta vain 56 % energiajärjestelmäskenaarioista tuottaisi kädenjälkeä sähkön osalta
- Kädenjäljen suuruus keskimäärin 11 %

Lämmön hinta ja päästöt

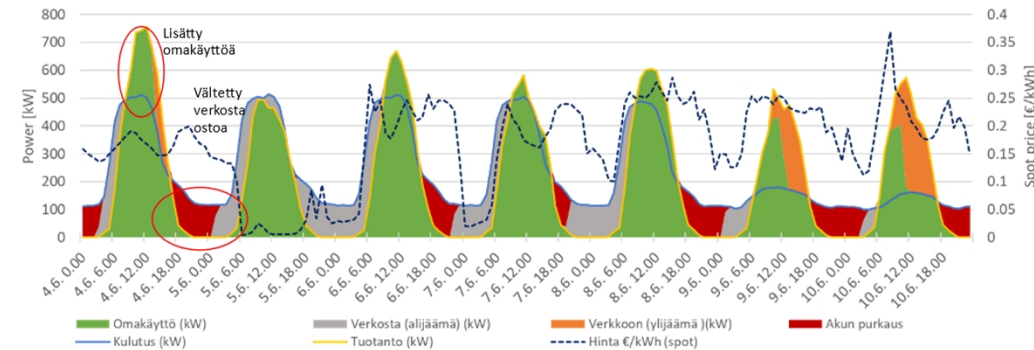
- Lämmön osalta 93 % skenaarioista johtaisi positiivisiin kädenjälkiin
- Kädenjälkien suuruus keskimäärin 55 %, suurimmillaan 83 %
- Toisin kuin sähkölle, lämmölle hinnan ja päästön korrelaatio ei ole selvä
- Pelkkä hinta ei ohjaa lämmön osalta vähäpäästöisiin ratkaisuihin, koska alhaisella hinnalla (20-40€/MWh) voidaan toteuttaa sekä suurimman että pienimmän päästön ratkaisuja

Aurinkosähkö ja akut energiayhteisössä

- Energiayhteisössä jaettu aurinkovoima- ja energiavarastoresurssit.
- Kehitetty Excel-malli/-työkalu, joka laskee aurinkosähkön omakäyttöä ja sähkön kustannuksia ilman akkuja ja akkujen kanssa. (Työkalu on saatavilla hankkeen verkkosivuilla)
- Tavoitteena oli maksimoida aurinkosähkön omakäyttöaste energiayhteisöissä, joten ylijäämä aurinkosähkö valittiin pääasialliseksi lataussähköksi.



Havainnollistava kuva tarkasteltavasta energiayhteisöstä.

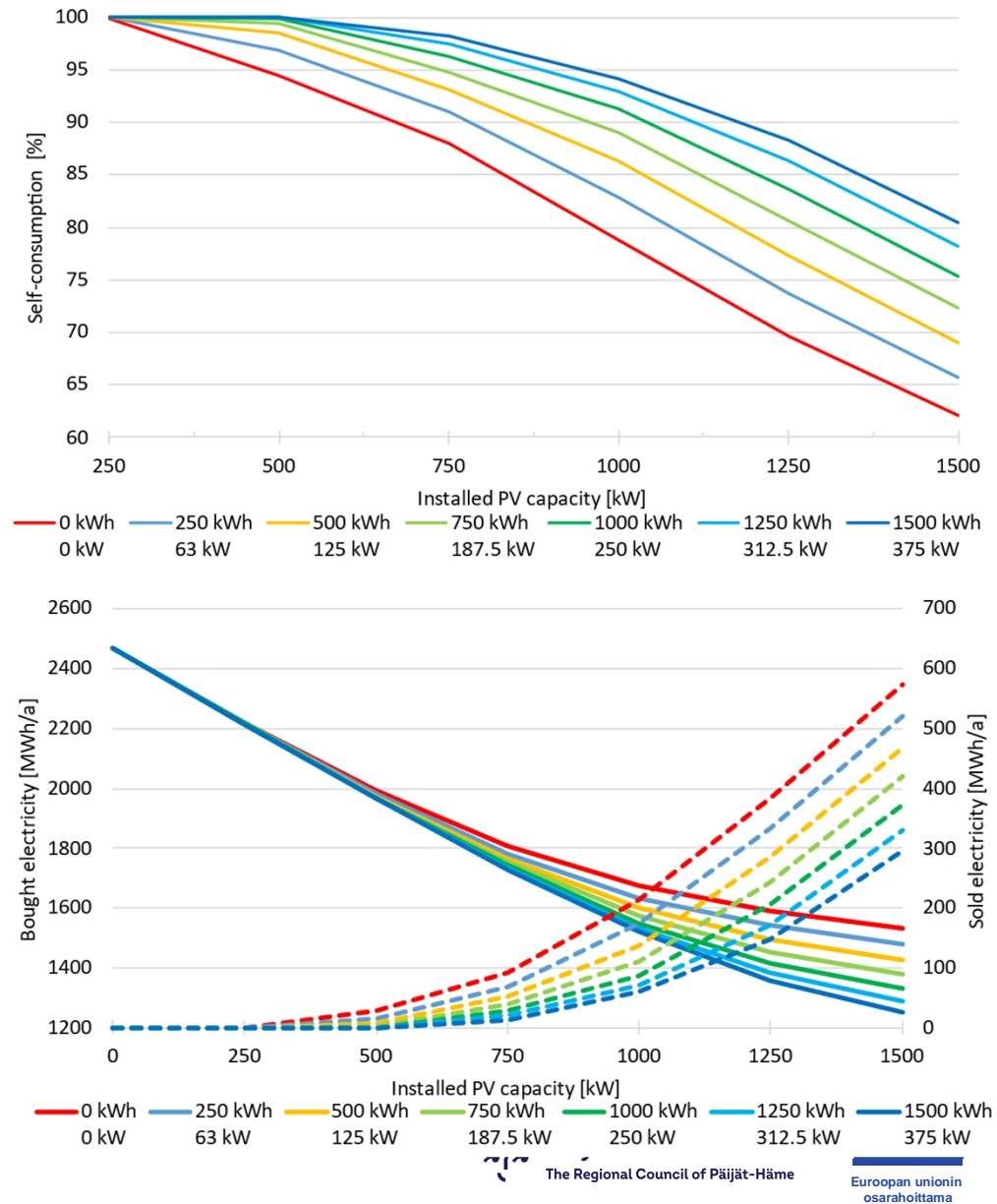


Akkujärjestelmän pääasiallinen toiminta yhden viikon yli. Lisäksi vuoden 2022 sähkön tuntihinta.

Konferenssijulkaisu

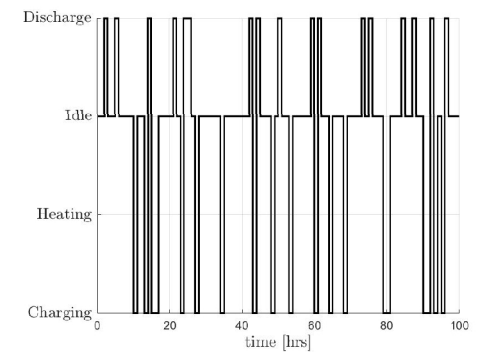
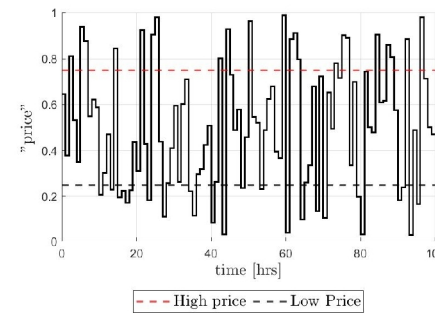
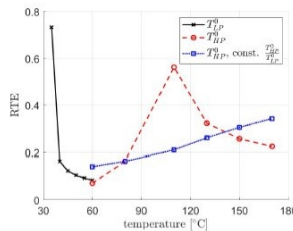
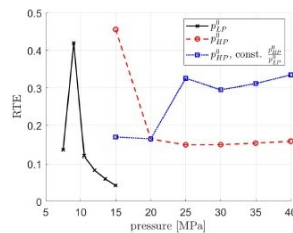
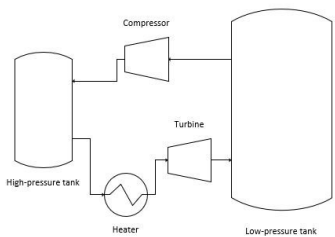
Co-locating PV and BESS in an energy community of commercial and industrial prosumers

- Excel-mallin pohjalta on tehty konferenssijulkaisu. (ISGT Europe 2024)
- Case alueena Vierumäki, teollisuus ja liiketoiminnan kiinteistöjä.
- Laskettu usealla eri aurinkosähkön ja akkujärjestelmän kapasiteetilla.
- Tulokset:
 - Aurinkosähköllä erittäin merkittävä teknis-taloudellinen potentiaali laskea sähkönostoa.
 - Akut mahdollistavat päivällä ylituotannon varastoinnin myöhempään käyttöön, kasvattaen omakäyttöä.
 - Akut myös merkittävästi vähentävät aurinkosähkön myynnistä saatua tuottoa.
 - Puhtaasta taloudellisesta näkökulmasta, aurinkosähkijärjestelmä kannattavampi kuin aurinko & akku -järjestelmä.



Ylikriittinen CO2 energiavarasto

- Hankkeessa selvitettiin myös uuden hiilidioksidiin perustuvan energiavaraston toteutettavuutta ja potentiaalia
 - Systeemi pystyy varastoimaan ja purkamaan sähköenergiaa hiilidioksidiin.
 - Kyseiseen prosessiin on suunniteltavissa ja valmistettavissa turbokoneet (kompressorit ja turbiinit)
 - Toteutuskelpoisilla turbokoneilla purku ja latausajat vaihtelevat kahden tunnin molemmin puolin, riippuen hieman prosessiarvoista.
 - Round trip-hyötysuhde parhaimmillaan noin 70 %.
 - Osana energiajärjestelmää toiminta on verrattavissa paineilmaparastoon



SIIRTUMÄ

Siirtymä uusiutuvan energian ja
resurssitehokkuuden hiilineutraaleihin
ekosysteemeihin



ENERGY
STORAGE

ENERGY
STORAGE